

黄色土における緑肥クロタラリア (*Crotalaria juncea*) の窒素無機化特性

辻 正樹¹⁾・山本 拓²⁾・竹内将充²⁾

摘要：緑肥による窒素減肥の可能性を検討するため、東三河地域における黄色土壌においてマメ科緑肥クロタラリア (*Crotalaria juncea*) の窒素無機化特性とすき込み後の窒素動態を調べた。

- 1 *C. juncea*の生育量は、生育期間が長くなるほど多くなり、炭素吸収量も増加した。しかし、窒素吸収量は、生育期間70日間で頭打ちになった。
- 2 緑肥すき込み後の土壌中の硝酸態窒素濃度は、すき込み後3日目以降から上昇し、11日目に最も高くなった。その後、低下したが、緑肥をすき込まない場合と比べて高く推移した。さらに、すき込み40日目からも若干濃度が上昇する傾向であった。
- 3 埋め込み試験において、*C. juncea*由来の有機態窒素は、埋め込み後1週間の無機化が速く、その後は緩やかに無機化が進んだ。
- 4 培養試験において、*C. juncea*の葉と茎では窒素の無機化傾向が大きく異なった。C/N比10の葉部は速やかに無機化が進んだが、C/N比40以上の茎部は窒素の取り込みが継続した。
- 5 *C. juncea*による窒素肥効は、すき込み後から2～3週間程度までが最も高いと考えられた。後作物の生育に影響のない期間を明らかにすることで、緑肥すき込み後できるだけ早い時期に定植ができれば、後作物の基肥において多くの窒素減肥が期待できる。

キーワード：黄色土、クロタラリア、窒素無機化、窒素動態、減肥

Characteristics of Nitrogen Mineralization of Green Manure Sunn Hemp in the Yellow Soil

TSUJI Masaki, YAMAMOTO Taku and TAKEUCHI Masamitsu

Abstract: To investigate the possibility of reducing nitrogen fertilizer use by green manuring, the characteristics of nitrogen mineralization and the nitrogen dynamics after cultivation of sunn hemp in the yellow soil were investigated.

1. The amount of nitrogen absorption by sunn hemp reached a maximum after 70 days.
2. The concentration of nitrate nitrogen in the soil after cultivation of the green manure crop increased after three days and became the highest after 11 days. In addition, the concentration slightly increased after 40 days.
3. In the embed test, organic nitrogen derived from sunn hemp was rapidly mineralized in one week after embedding, after that, mineralization occurred gradually.
4. In the sunn hemp leaves and stems, the tendency of nitrogen mineralization was significantly different. Mineralization in the leaves rapidly progressed, but nitrogen uptake continued gradually in the stem.
5. Nitrogen fertilization by sunn hemp was considered to be the highest from two to three weeks after cultivation. It is expected that the use of nitrogen fertilizer in the basal fertilizer of the after crop can be greatly reduced if planting can be carried out as soon as possible after the cultivation of the green manure crops.

Key Words: Yellow soil, Sunn hemp, Nitrogen mineralization, Nitrogen dynamics, Reducing fertilizer

緒言

キャベツやブロッコリーなど秋冬野菜の生産が盛んな本県東三河地域では、肥沃度の低い黄色土壌が広く分布しているため、野菜の収量向上を目的に堆肥や緑肥による土づくりが進められている。特に、緑肥は土壌の物理性や化学性改善に加えて雑草繁茂防止の目的から、主にソルガムが利用されている。

一方、農業生産に不可欠な化学肥料の原料はその大部分を輸入に依存しているが、2008～2009年の肥料価格高騰後、価格は高止まりしており¹⁾、生産コスト増大の一因となっている。そのため、施肥量削減によるコスト低減が求められており、緑肥の肥料的効果についても関心が寄せられている。

秋冬野菜畑の夏季休閑期に緑肥を栽培する場合は、夏まき緑肥を導入する必要があるが、イネ科緑肥のソルガムやギニアグラス、マメ科緑肥のクロタラリア等が適すると考えられる。一般的にソルガムやギニアグラスはマメ科緑肥に比べて乾物生産量が多く、炭素含量も多い²⁾ことから、土壌への有機物補給や物理性改善に効果があると考えられるが、C/N比が大きいいため、速効的な窒素肥効は期待できない。

一方、クロタラリアは、窒素吸収量が多く、C/N比が低い傾向があるため、ソルガムやギニアグラス以上の肥料的効果が期待できる。糟谷と廣戸³⁾は、夏の休閑期にソルガムとクロタラリア(*Crotalaria spectabilis*)を栽培し、キャベツに対する肥料的効果ならびに土壌窒素肥沃度維持効果を調べ、緑肥の連用に伴ってキャベツが多収となり、*C. spectabilis*では2 g-N m⁻²の減肥を行っても緑肥無施用より収量が9%多かったと報告している。窒素固定能を有する*C. juncea*の窒素吸収量は15 g-N m⁻²程度²⁾が見込まれるため、さらなる窒素減肥ができる可能性がある。

そこで、黄色土壌における*C. juncea*の窒素無機化特性とすき込み後の窒素動態を明らかにし、さらなる窒素減肥の可能性を検討した。

材料及び方法

1 *C. juncea*の生長と成分吸収量

試験は、豊橋市飯村町(東三河農業研究所)の細粒質台地黄色土のほ場で実施した。試験開始前の土壌の化学性は表1のとおりである。2014年に*C. juncea*(品種：ネマコロリ、雪印種苗)種子を、秋冬作の作付け前にあたる9月1日から逆算して、50、60、70、80及び90日間の生育期間が確保できるように、播種日を変えて6 g m⁻²散播した。各区の栽培面積は10 m²とした。降雨のため予定の1日後、2014年9月2日に1 m×1 mのコドラート内の植物体を地際から刈取り、新鮮重を測定した。乾燥・粉碎後、全炭素(T-C)と全窒素(T-N)を測定し、乾物量と成分含有率から成分吸収量を求めた。試験は各区2反復で行った。

2 すき込み試験

2015年6月5日に、東三河農業研究所内のほ場において、*C. juncea*(品種：ネマコロリ)を6 g m⁻²播種し、70日間栽培した後、2015年8月14日にロータリですき込んだ。緑肥播種前の土壌の化学性を表2に示した。すき込み前に、1 m×1 mのコドラート内から緑肥を刈取り、生育量を測定後、乾燥した。乾燥試料を粉碎後、T-C、T-N、リン、カリウム含有率を測定した。緑肥すき込み後、作土15 cm深の土壌を採取し、無機態窒素含量を経時的に測定した。試験は各区3反復とし、試験中は無植栽とした。

3 埋め込み試験

2015年に70日間の生育期間を確保した*C. juncea*(品種：ネマコロリ)を刈り取り、葉と茎に分別した後60℃で乾燥した。すき込み時の緑肥に類似した形状とするため、茎は約5 cmに切断し、葉は切断しなかった。所内ほ場から採取した黄色土を目開き5 mmのふるいに通した未風乾土115 g(乾土100 g相当)に、*C. juncea*の葉部と茎部を混合して不織布に充填した。葉と茎の混合比率が1:3となるように、乾物重を葉0.48 g、茎1.44 gにして混合した。不織布に充填した土壌の化学性を表3に示し

表1 *C. juncea*の栽培試験開始時における土壌の化学性

pH	EC mS m ⁻¹	T-C g-C kg ⁻¹	T-N g-N kg ⁻¹	可給態窒素 mg-N kg ⁻¹	CEC cmol _c kg ⁻¹	交換性陽イオン cmol _c kg ⁻¹			可給態リン酸 mg-P ₂ O ₅ kg ⁻¹
						K	Ca	Mg	
6.5	0.02	7.6	0.9	14.8	11.2	0.8	5.6	1.4	259

注) 土壌採取時期：2014年5月29日

表2 緑肥すき込み試験における*C. juncea*播種前の土壌の化学性

pH	EC mS m ⁻¹	T-C g-C kg ⁻¹	T-N g-N kg ⁻¹	可給態窒素 mg-N kg ⁻¹	CEC cmol _c kg ⁻¹	交換性陽イオン cmol _c kg ⁻¹			可給態リン酸 mg-P ₂ O ₅ kg ⁻¹
						K	Ca	Mg	
5.5	0.07	17.0	1.5	58.6	13.4	1.5	4.6	0.9	300

注) 土壌採取時期：2014年5月1日

た。供試した *C. juncea* の部位別成分と埋め込みした試料中の窒素量を表4に示した。不織布は上部が深さ5 cm になるよう、2015年8月18日にほ場に埋設した。試験中は無植栽、無施肥とした。埋設後、7、14、28、56、84、112日目に堀出し、不織布から取り出した試料を風乾後、目開き2 mmのふるいを通して礫を取り除いた。試料土壌を粉碎した後、T-CとT-Nを測定した。また、緑肥を混合せず、土壌のみ充填した不織布も同時に埋設し、T-CとT-Nを測定した。緑肥を混合した土壌のT-C、T-N含量から緑肥未混合土壌のT-C、T-N含量を差し引いて、「見かけの緑肥由来炭素及び窒素残存量」を求め、試験に供試した緑肥由来炭素及び窒素量で除して「見かけの緑肥由来炭素及び窒素残存率」を求めた。各調査日の調査は5連で行った。

4 室内培養試験

生長と養分吸収量を調査した70日区の試料の一部を葉と茎に分けて乾燥後、2 mm以下に粉碎した。乾燥は Dalal⁴⁾、今野⁵⁾らが報告している分解特性に影響を及ぼさない乾燥温度の上限60°Cで行った。培養に供した土壌は、所内ほ場から採取した細粒質台地黄色土を風乾したもので、土壌の化学性を表5に示した。培養びんに供試土20 gをとり、葉と茎を別々に、75 mg採取して土壌と混合した。また、葉と茎を収穫時の乾物比率で混合した茎葉混合区を設け、同様に75 mgを土壌に混和した。試験に用いた *C. juncea* の部位別成分量を表6に、培養に供した窒素量を表7に示した。培養時の土壌水分が、最大

含水量の60%になるように調整し、30°Cで暗所に静置した。培養期間は、0、7、14、28、56、84、112日とした。培養終了後、10%KCl溶液を100 ml加えて振とう抽出し、ろ液の無機態窒素濃度を測定した。また、緑肥を混合しない土壌についても同様に培養を行い、無機態窒素濃度を測定した。緑肥を混合した土壌の無機態窒素含量から、緑肥未混合土壌の無機態窒素含量を差し引いて、「見かけの緑肥由来窒素無機化量」を求め、培養に供試した緑肥由来窒素量で除して「見かけの窒素無機化率」を求めた。試験は3連で行った。

5 化学分析

土壌の成分含量は常法⁶⁾により分析した。すなわち、T-C、T-Nは乾式燃焼法(スミグラフNC-22F、株式会社住化分析センター、大阪)により、可給態窒素は保温静置法により、可給態リン酸はトルオーグ法により測定した。CECはショーレンベルガー法で、交換性陽イオンは酢酸アンモニウム抽出液を原子吸光度法により測定した。無機態窒素は、流れ分析装置(ビーエルテック株式会社、大阪市)を用いて、アンモニア態窒素(NH₄-N)をインドフェノール青法により、硝酸態窒素と亜硝酸態窒素(NO₃-N+NO₂-N)を銅・カドミウムカラム還元ナフチルエチレンジアミン吸光度法により測定した。植物体のT-C、T-N含有率は乾式燃焼法⁷⁾により測定した。リン酸とカリウムについては、硝酸-過塩素酸分解⁷⁾により分解後、リン酸はモリブデン青法⁸⁾により、カリウムは原子吸光度法⁹⁾により測定した。

表3 埋め込み試験に用いた土壌の化学性

pH	EC mS m ⁻¹	T-C g-C kg ⁻¹	T-N g-N kg ⁻¹	NH ₄ -N mg kg ⁻¹	NO ₃ -N mg kg ⁻¹	可給態窒素 mg-N kg ⁻¹	CEC cmol _c kg ⁻¹	交換性陽イオン cmol _c kg ⁻¹			可給態リン酸 mg-P ₂ O ₅ kg ⁻¹
								K	Ca	Mg	
5.4	0.08	17.2	1.6	7.1	32.7	48.1	12.1	1.3	4.4	0.9	348

注) 土壌採取時期：2015年8月3日

表4 埋め込み試験に用いた *C. juncea* の部位別成分および埋め込み窒素量

部位	乾物比 %	T-C g kg ⁻¹	T-N g kg ⁻¹	C/N 比	埋め込み緑肥の窒素量
					mg kg ⁻¹
葉	24.5	461	48.4	9.5	232.5
茎	75.5	466	12.0	38.8	172.7

表5 室内培養試験に用いた土壌の化学性

pH	EC mS m ⁻¹	T-C g-C kg ⁻¹	T-N g-N kg ⁻¹	NH ₄ -N mg kg ⁻¹	NO ₃ -N mg kg ⁻¹	可給態窒素 mg-N kg ⁻¹	CEC cmol _c kg ⁻¹	交換性陽イオン cmol _c kg ⁻¹			可給態リン酸 mg-P ₂ O ₅ kg ⁻¹
								K	Ca	Mg	
6.5	0.02	8.0	1.0	1.1	0.7	13.8	12.1	0.5	6.1	1.6	260

表6 室内培養試験に用いた *C. juncea* の部位別成分量

部位	収穫時の乾物比 %	乾物率	T-C g kg ⁻¹	T-N g kg ⁻¹	C/N 比	P	K
						g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
葉	22.7	0.90	446	43.3	10.3	3.1	25.3
茎	77.3	0.91	463	10.8	42.9	1.3	26.8

試験結果

1 *C. juncea*の生育と成分吸収量

*C. juncea*の生育は、播種直後は緩慢であったが、播種後30日目頃から旺盛になった(図1)。草丈は生育日数が長い区ほど大きくなった。*C. juncea*のすき込み時の生育量は、生育期間が長くなるほど多くなった(表8)。炭素含有率は生育期間に拘らずほぼ同等で、炭素吸収量は生育量を反映して生育期間が長くなるほど多くなった。窒素含有率は81日目以降に低下し、吸収量も頭打ちとなった。その結果、C/N比は81日目以降30程度と大きくなった。

表7 培養試験に供した*C. juncea*の窒素量

部位	培養に供した窒素量	
	mg kg ⁻¹	
葉	144	
茎	36	
茎葉混合	61	

2 すき込み試験

すき込みした*C. juncea*の地上部の窒素含有率は21.6 g kg⁻¹でC/N比は20.9であった。窒素吸収量は14.2 g m⁻²であった(表9)。

クロタラリア区ではすき込み後3日目にアンモニア態窒素が増加した(図2)。その後アンモニア態窒素は減少し、硝酸態窒素が増加した。硝酸態窒素は、すき込み後11日目に極大となり、その後150 mm程度の降雨があったことから20日目には急激に減少した(図2)。40日目以降は、緑肥無施用区では硝酸態窒素がほとんど涸渇状態であったのに対して、クロタラリア区は10 mg kg⁻¹前後で推移し、すき込み後40日目以降に再び若干増加した。

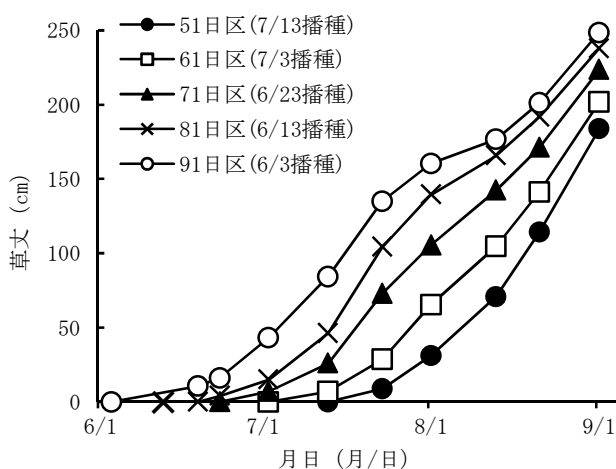


図1 播種時期を変えた*C. juncea*の生育推移

表8 生育期間の異なる*C. juncea*の生育量と成分含量

試験区	生育量		T-C		T-N		C/N比		C吸収量		N吸収量				
	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD	平均値	SD			
51日 (7/13播種)	2.93	0.02	a	473	0	20.5	4.0	23.9	4.0	256.8	13.3	a	11.2	2.7	a
61日 (7/3播種)	3.45	0.50	ab	480	5	22.4	3.3	22.1	3.3	342.8	34.2	ab	15.9	0.5	ab
71日 (6/23播種)	4.19	0.29	ab	481	4	20.3	0.8	24.4	1.6	474.9	37.2	bc	20.1	1.0	b
81日 (6/13播種)	4.11	0.43	ab	481	1	15.5	0.6	31.0	1.3	484.5	60.3	bc	15.6	1.3	ab
91日 (6/3播種)	4.57	0.19	b	486	3	16.0	2.3	30.6	4.5	569.4	7.2	c	18.8	2.9	ab

収量とN吸収量は異符号間に5%水準で、C吸収量は異符号間に1%水準で有意差あり(Tukey法による)

表9 すき込み試験に用いた*C. juncea*の生育量と成分含量

草丈	生育量	乾物量	水分	T-C	T-N	C/N比	P	K	成分吸収量		
									N	P ₂ O ₅	K ₂ O
cm	kg m ⁻²	kg m ⁻²	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹		g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²
193	2.89	0.66	77.1	452	21.6	20.9	2.3	30.3	14.2	3.5	24.0

3 埋め込み試験

*C. juncea*の葉部と茎部に含まれる見かけの窒素の残存率は、埋め込み後1週間で52.0%まで急速に低下した(図3)。その後、残存率は緩やかに低下して、埋め込み後12週目には41.6%、40週間後には23.7%まで低下した。*C. juncea*の葉部と茎部に含まれる見かけの炭素の残存率は、埋め込み後1週目に60.7%まで急速に低下した(図3)。その後、残存率は緩やかに低下して、埋め込み後8週目には28.7%、40週間後には13.7%まで低下した。

4 室内培養試験

試験に供した*C. juncea*の葉は茎に比べて窒素とリンの含有率が高く、C/N比は低かった(表6)。

葉区の窒素無機化率は、培養後7日目に25%まで急速に高まり、その後徐々に無機化が進み、84日後には50%程度になった(図4)。茎区は培養直後から窒素無上昇に転じた。すき込み時の比率に調整した茎葉混合区も培養開始直後は窒素無機化率が負の値となったが、培養後28日目から上昇に転じ、56日後からは窒素無機化率が正の値になった。

考 察

本試験に供試した*C. juncea*の生育量は、生育期間が長くなるほど多くなり、炭素吸収量もそれに比例して多くなったことから、土壤中への有機物補給をねらいとする場合は、生育期間をより長く確保したほうが効果的であると考えられた。しかし、窒素肥沃度の低い黄色土壌で栽培した本試験では、栽培期間が81日間以上でC/N比が高まる傾向にあり、窒素吸収量が71日目で頭打ちになったことから、生育期間を71日間より延長しても、窒素供給量の増加は見込めないと考えられた。*C. juncea*はすき込み適期を過ぎると茎が木化し、すき込みにくくなる¹⁰⁾ため、生育期間の延長は作業性の面からも不利になる。そのため、後作物への窒素肥効を期待する場合の生育期間は、70日間程度が適すると考えられた。*C. juncea*のすき込み後の窒素動態と窒素無機化特性を解明するために行った以下の試験については、生育期間70日間の*C. juncea*を供試することとした。

*C. juncea*すき込み後の土壤中無機態窒素含量は、3日目にアンモニア態窒素のピークが認められ、6日目に

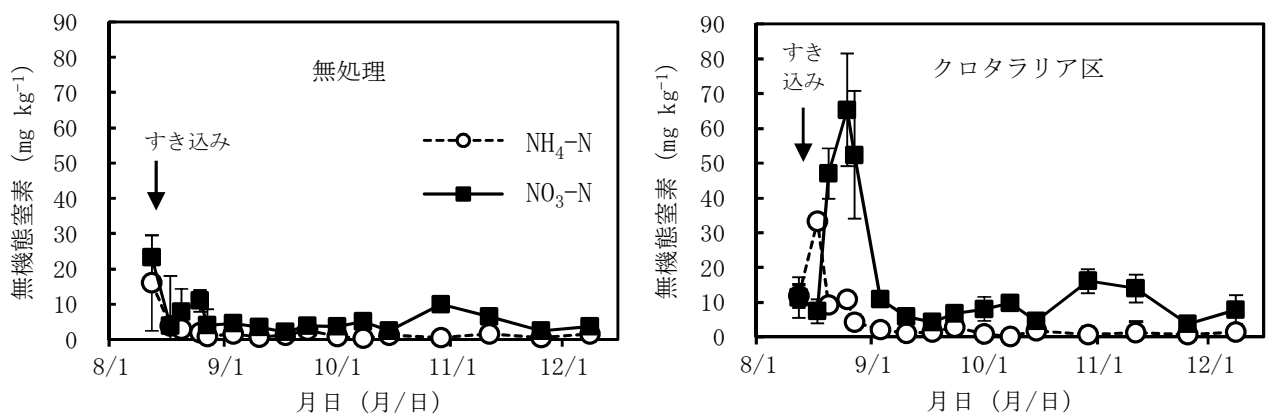


図2 *C. juncea*すき込み前後の土壤中無機態窒素含量の推移

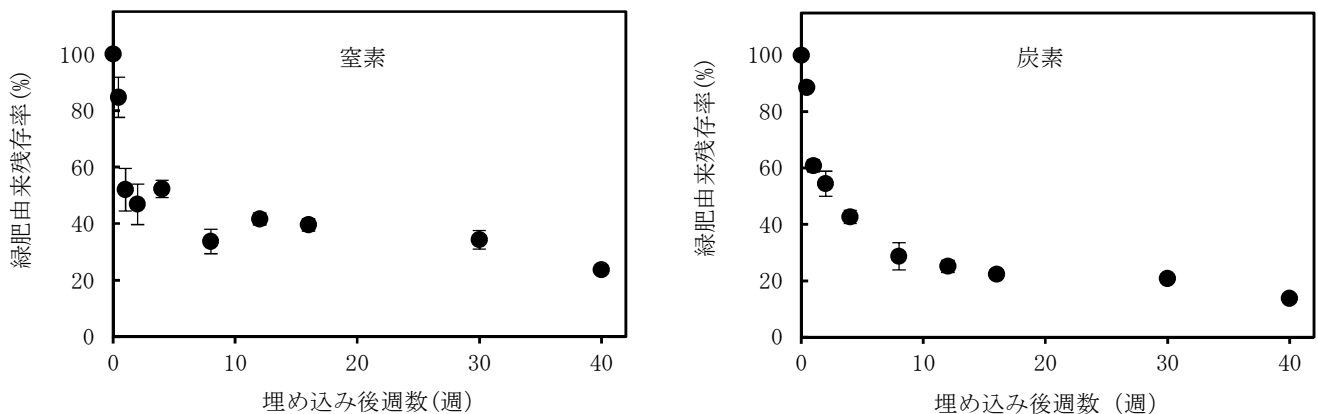


図3 埋め込み試験における*C. juncea*の窒素及び炭素残存率の推移

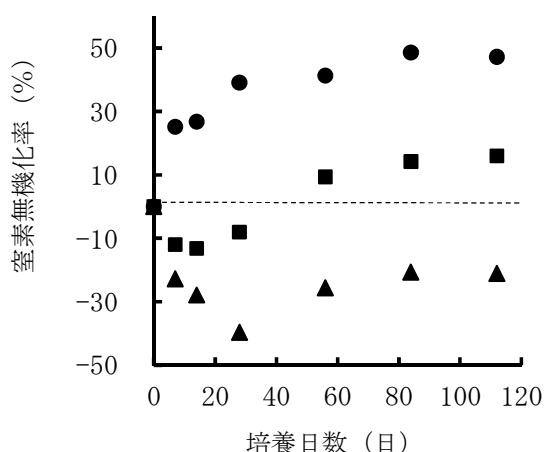


図4 室内培養試験における *C. juncea* の部位別窒素無機化率の推移
(●葉区 ▲茎区 ■茎葉混合区)

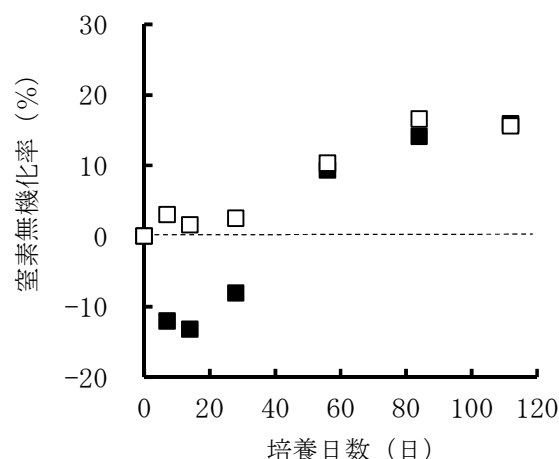


図5 室内培養試験における茎葉混合区の窒素無機化率と茎区と葉区の窒素無機化率の和との比較
(■茎葉混合区 □茎区と葉区との和)

注) 茎区と葉区の窒素無機化率(%)の和 = (茎葉混合区の葉由来窒素量×葉区の窒素無機化率+茎葉混合区の茎由来窒素量×茎区の窒素無機化率)÷茎葉混合区の葉及び茎由来窒素量×100

は硝酸態窒素のピークが見られたことから(図2)、土壤中では無機化、硝化が速やかに進行したと判断できる。

土壤中における植物体の無機化は、そのC/N比に大きく依存する¹¹⁾ことが知られている。糟谷¹²⁾は、肥沃な土壌を用いた培養試験により、C/N比20以下の緑肥では、はじめの4週間に窒素無機化が進むのに対し、C/N比が20を超え、その値が大きくなるほど、土壌窒素の有機化の程度が大きくなり、4週目で徐々に窒素の無機化が進むと報告している。

今回、すき込み試験に供試した *C. juncea* のC/N比が20.9であり、また、試験ほ場の土壌が比較的肥沃であったため、すき込み初期から緑肥からの窒素放出が進んだと考えられる。

なお、すき込み試験において *C. juncea* をすき込みした区の土壌中の硝酸態窒素含量は、すき込み後40日目から若干増加する傾向にあり、また、無処理区に比べて常に含量が多かった。12月までその傾向は維持されたことから、*C. juncea* をすき込むことにより、3か月間程度は窒素供給が見込まれると考えられた。

室内培養試験による *C. juncea* の窒素無機化の様相は、葉区と茎区で大きく異なった。これは、葉と茎のC/N比の差異に起因するものと考えられる。供試した *C. juncea* の葉のC/N比が10前後であったのに対し、茎は40以上であったことから、葉区では培養開始後早くから窒素の無機化が進んだと考えられる。一方、茎区では、炭素が窒素に比べて過剰であり、茎中の有機物を分解する

微生物の増殖に必要な窒素が、茎および土壌中に不足したため、分解が遅延し有機化が継続されたと考えられる。

すき込み時の比率に調整した茎葉混合区では、茎区ほどではないものの、培養開始後14日目まで有機化が進み、28日後まで無機化率は負の値となった。培養試験では、すき込み試験および埋め込み試験と比べて窒素肥沃度の低い土壌を用いたため(表2、3、4)、茎区と同様に *C. juncea* の分解が進まず、窒素の放出が遅れる結果となった可能性がある。

茎葉混合区の茎と葉の供試窒素量に、茎区と葉区のそれぞれの窒素無機化率を乗じて茎と葉それぞれの窒素無機化率の和を求めた(図5)。茎葉混合区の窒素無機化率が、混合比率に基づく茎と葉それぞれの窒素無機化率の和であると仮定して両者を比較すると、前者が培養初期から負の値とならないのに対して、後者は14日後に-13.2%となりその後、上昇に転じた。このことは、茎葉混合区では、葉から放出された窒素も茎の分解に利用されて有機化量が無機化量を上回ったためと考えられる。一方、56日目以降の窒素無機化率には両者で差は見られなかった。すなわち、28日から56日目にかけての窒素無機化率の増加は茎葉混合区の方が大きいと判断される。

したがって、土壌窒素肥沃度の低い土壌では、*C. juncea* すき込み後の窒素放出が遅れる可能性があるため、後作物への肥効を確保するためには、茎のC/N比が

大きくならない70日間程度の栽培期間をとった場合、窒素放出の多くなる4週間後から後作の栽培を行うことが妥当であると考えられる。

一方、すき込み試験と埋め込み試験の窒素残存率の推移を考慮すると、比較的肥沃な土壌であれば*C. juncea*は、すき込み後2週間目までに多くが無機化し、その後の無機化は緩やかであることから、基肥代替として窒素減肥を行うことが有効であると考えられる。また、すき込み後40日目以降に行う追肥でも若干減肥できる可能性がある。

この場合、すき込みから後作物の定植までの期間を短くした方が、窒素減肥量を多くすることができると考えられる。キャベツの栽培期間が*C. juncea*すき込み後から3か月間程度の栽培体系を想定する場合、*C. juncea*からのみかけの窒素無機化率は60%程度と考えられことから、*C. juncea*の窒素吸収量を15 g-N m⁻²と仮定すると、*C. juncea*すき込み土壌からの土壌窒素供給量は、9 g m⁻²程度と見込まれる。緑肥すき込み直後は土壌病原菌の増加による後作物の生育障害^{13,14)}等が懸念されるため、後作物の生育に影響のない期間を明らかにする必要があるが、緑肥すき込み後できるだけ早い時期での定植が可能になれば、愛知県における秋冬作キャベツの施肥基準(300 kg-N ha⁻¹)に対して、最大3割の窒素減肥ができると考えられる。

引用文献

1. 農林水産省. 肥料をめぐる情勢. (2016). http://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_hiryo/attach/pdf/index-1.pdf. (2017. 5. 5参照)
2. 愛知県農業総合試験場. 夏季の緑肥栽培による環境保全型露地野菜栽培. 農業の新技術. 96, 1-6(2010)
3. 糟谷真宏, 廣戸誠一郎. 秋冬キャベツ栽培の夏季休閑期への緑肥作物導入による窒素収支の改善. 愛知農総試研報. 42, 141-146(2010)
4. Dalal, R. C. Mineralization of carbon and phosphorus from carbon-14 and phosphorus-32 labelled plant material added to soil. Soil Science Society of America Journal. 43, 913-916(1979)
5. 今野一男, 平井義孝, 菊池晃二. 緑肥の乾燥および粉碎方法が土壌中での炭素の分解と窒素の放出に及ぼす影響. 日本土壌肥料学雑誌. 63(4), 470-472(1992)
6. 土壌環境分析法編集委員会. 土壌環境分析法. 博友社. 東京. p. 1-427(1997)
7. 植物栄養実験法編集委員会編. 植物栄養実験法. 博友社. 東京. p. 1-488(1990)
8. 並木博. 詳解工業排水試験方法 改訂4版. 日本規格協会. 東京. p. 328-346(2008)
9. 作物分析法委員会. 栄養診断のための栽培作物分析測定法. 養賢堂. 東京. p. 1-545(1975)
10. 山梨県総合農業技術センター. やまなし緑肥利用マニュアル. 山梨県総合農業研究センター. 山梨. p. 1-24(2016)
11. 広瀬春朗. 各種植物遺体の有機態窒素の畑状態土壌における無機化について. 日本土壌肥料学雑誌. 44(5), 157-163(1973)
12. 糟谷真宏. ソルガムの窒素肥効からみた秋冬キャベツの増収と窒素収支改善効果. 土づくりとエコ農業. 47(2), 34-39(2015)
13. 沢田泰男. 緑肥の分解に伴う畑作物の生育障害に関する研究. 北海道同業試験場報告. 76, 1-62(1969)
14. 東條元昭, 中山(山田)佳代子, 三村(小堀)浩子. 緑肥導入と土壌病原菌の動態. 農業および園芸. 85(1), 183-189(2010)